

## МАГНИТНАЯ СИСТЕМА АВТОРЕЗОНАНСНОГО УСКОРИТЕЛЯ

А. П. ИШКОВ

(Представлена научным семинаром НИИЯФЭА)

Новый авторезонансный метод ускорения заряженных частиц электромагнитной волной [1] предполагает использование постоянного магнитного поля в пространстве взаимодействия заряженной частицы с электромагнитной волной. Направление магнитного поля должно совпадать с направлением распространения электромагнитной волны. Магнитное поле должно быть однородным при фазовой скорости распространения электромагнитной волны, равной скорости света, и его величина определяется циклотронной частотой вращения частицы в магнитном поле, которая в частном случае равна частоте электромагнитной волны.

В случае, когда ускорение производится электромагнитной волной с фазовой скоростью больше скорости света в однородном постоянном магнитном поле, ускорение будет иметь периодический характер. Длина участка, на котором происходит ускорение, определяется следующим соотношением

$$l = \frac{\beta \lambda}{2(\beta^2 - 1)}, \quad (1)$$

где  $\beta$  — относительная фазовая скорость электромагнитной волны;  
 $\lambda$  — длина электромагнитной волны.

Требований на однородность магнитного поля в теории [1] не сформулировано, но эксперименты, проведенные нами, показывают, что неоднородности меньше 5% не оказывают существенного влияния.

Для экспериментального исследования авторезонансного метода ускорения электронов создается ускоритель с относительной фазой скоростью ускоряющей волны 1,14 при длине волны в свободном пространстве порядка 10 см.

Целью настоящей работы является создание магнитной системы для данного ускорителя, с помощью которой можно получать постоянное магнитное поле напряженностью порядка 1000 эрстед в цилиндрическом объеме длиной 200 мм, которая определяется по формуле (1), и диаметром 190 мм с однородностью распределения не хуже 5%. Магнитная система должна обладать высокой доступностью, так как внутри нее должна размещаться волноводная система, в которую инжектируется пучок электронов и из которой осуществляется вывод ускоренных электронов.

Существующие методы получения однородных магнитных полей порядка 1000 эрстед в больших объемах с использованием железных магнитопроводов громоздки и имеют ограниченный доступ к области однородного поля. Использование соленоидов также осложнено, так как до-

ступ к области их однородного поля возможен только с торцевой стороны.

Отмеченные недостатки отсутствуют у магнитной системы катушек Гельмгольца [2, 3], которые представляют собой две соосные одинаковые катушки. Однако непосредственное использование катушек Гельмгольца для нашего случая затруднено, так как протяженность однородного поля в них составляет половину среднего диаметра катушки. Поэтому катушки потребуются очень большими и на их питание нужна значительная (порядка нескольких десятков киловатт) мощность постоянного тока. Конструкция магнитной системы в таком случае будет сложной.

Приемлемой для практического использования выбрана магнитная система трех катушек, синтезированная на основе катушек Гельмгольца, конструкция которой показана на рис. 1. Катушки, изготовленные из

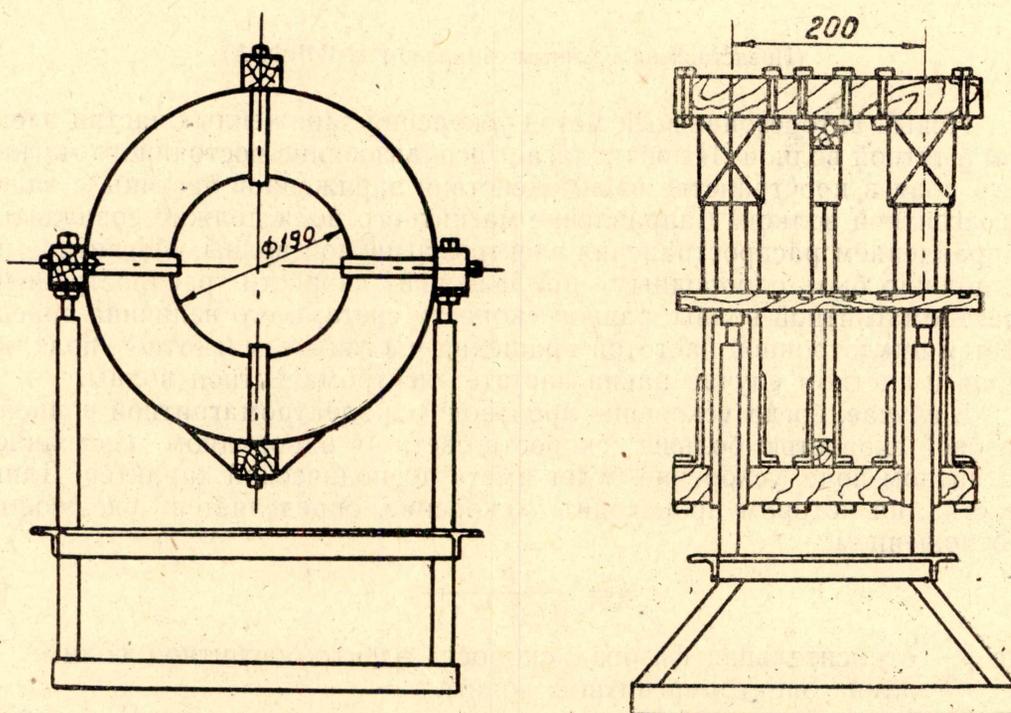


Рис. 1.

медной шинки, включены последовательно и ориентированы так, что создаваемые ими поля в рабочем объеме складываются. Магнитное поле на оси отдельной катушки определяется по формуле [4].

$$H(l) = \frac{\pi}{5} i \lambda' \left\{ (x-l) \ln \frac{y_2 + \sqrt{y_2^2 + (x-l)^2}}{y_1 + \sqrt{y_1^2 + (x-l)^2}} + (x+l) \ln \frac{y_2 + \sqrt{y_2^2 + (x+l)^2}}{y_1 + \sqrt{y_1^2 + (x+l)^2}} \right\}, \quad (2)$$

где  $l$  — расстояние от центра катушки по оси,  
 $x$  — половина ширины катушки,  
 $y_1$  — внутренний диаметр катушки,  
 $y_2$  — внешний диаметр катушки,  
 $\lambda'$  — коэффициент плотности намотки катушки,  
 $i$  — плотность тока в амперах на квадратный сантиметр.

Все размеры берутся в сантиметрах, а напряженность магнитного поля получается в эрстедах.

При заданных размерах основных катушек и расстоянии между ними геометрия дополнительной средней катушки и количество ампервит-

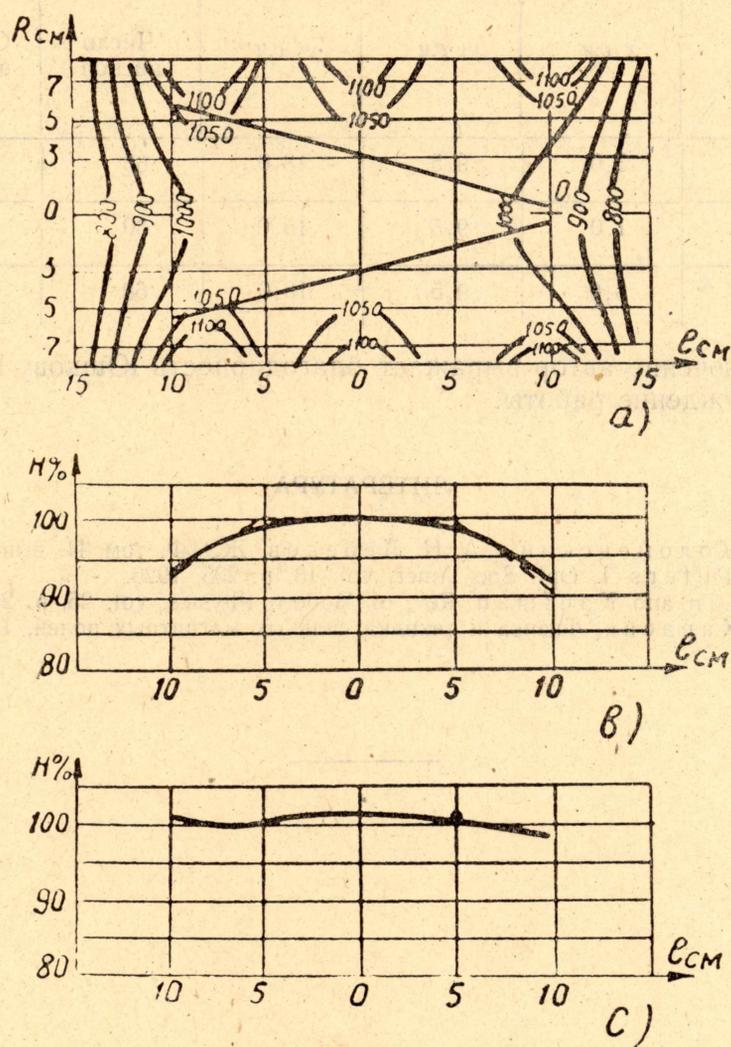


Рис. 2

ков в ней выбирается так, чтобы сумма всех трех компонентов в рабочем объеме оставалась величиной постоянной

$$H_1(l) + H_2(l) + H_3(l) = \text{const.} \quad (3)$$

С точностью до  $1 \div 2\%$  эта задача может быть легко решена графоаналитическим методом. Результаты проведенных расчетов приведены в таблице.

При токе в обмотках 280 а напряженность магнитного поля в центре системы составила 1045 эрстед. Топография магнитного поля в рабочем объеме показана на рис. 2 а. Результаты измерения магнитного поля на оси системы показаны на рис. 2 в. Из графиков видно хорошее совпадение экспериментальной пунктирной кривой с расчетной сплошной в центральной части рабочего объема магнитной системы.

Распределение магнитного поля вдоль образующей поверхности цилиндрического соосного конуса с диаметром основания, равным 12 см, в

окрестности которой движется ускоряемый электрон, было получено, как геодезическое сечение по направлению ОА на рис. 2 а, и представлено на рис. 2 с. Неоднородность магнитного поля составляет меньше 3%.

Т а б л и ц а

Параметр катушки № катушки	$x$ см	$y_1$ см	$y_2$ см	Число витков	Сечение шинки, см <sup>2</sup>
1	3,0	9,5	18,0	68	0,65
2	1,0	9,5	15,0	30	0,30
3	3,0	9,5	18,0	68	0,65

В заключение автор выражает благодарность Юшкову Ю. Г. за полезное обсуждение работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Коломенский и А. Н. Лебедев. ЖЭТФ, том 44, вып. 1, 1963.
2. M. F. Peters. I. Opt. Soc. Amer, vol. 13, p. 205, 1926.
3. S. T. Lin and Kaufman. Rev. of Modern Physics, vol. 25, p. 253, 1953.
4. В. Г. Карасик. Физика и техника сильных магнитных полей, 1964.